

MACROPROYECTO:
SERVICIOS ECOSISTÉMICOS PRESTADOS POR EL
SUELO.

Tema: Metodologías que permitan evaluar la “salud del
suelo”.

Estudiante
Jairo Arturo Ortiz Zamora

Director
Liliana Bueno López

Especialización en Gestión Ambiental Local
Facultad de Ciencias Ambientales
Universidad Tecnológica de Pereira
Pereira, 2020

CONTENIDO

RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN	3
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
2 JUSTIFICACIÓN	5
3 OBJETIVOS	6
3.1 OBJETIVO GENERAL	6
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
4 METODOLOGÍA	7
5 MARCO TEÓRICO	8
5.1 ANTECEDENTES	8
5.2 CONSIDERACIONES TÉCNICAS	10
5.2.1 Descripción general del papel del suelo como proveedor de servicios ecosistémicos y en la agricultura de conservación	10
5.2.2 Importancia de la gestión sostenible del suelo	12
5.2.3 Conceptos de Calidad y Salud del Suelo	12
5.2.4 Qué es el suelo, características de un suelo saludable	13
5.2.5 Metodologías de evaluación de la salud del suelo	16
6 RESULTADOS	27
7 CONCLUSIONES	30
BIBLIOGRAFÍA	31

RESUMEN

Con el objetivo de analizar las metodologías disponibles para la evaluación de la salud del suelo en agroecosistemas cafeteros se realizó una recopilación de información en artículos o publicaciones a través de la búsqueda en bases de datos institucionales, bases de datos Scopus, ScienceDirect, y con el motor de búsqueda Google Scholar; en cada uno de ellos se incorporaron palabras clave y conectores booleanos para limitar el alcance de la búsqueda.

La información recopilada se organizó, sintetizó y contrastó distinguiendo las ideas más importantes del resto, se resumieron los conceptos, se enumeraron las ideas relevantes, y finalmente se clasificaron las metodologías bajo los siguientes criterios: precisión, consistencia y reproducibilidad, bajo costo de implementación, facilidad y rapidez de ejecución, facilidad en la interpretación de resultados.

Palabras clave: salud del suelo, soil health test, calidad del suelo, agroecosistemas cafeteros, servicios ecosistémicos.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el crecimiento demográfico ha ejercido mayor presión sobre los recursos naturales y en consecuencia la población se ha obligado a optimizar el uso del suelo, el agua y los recursos energéticos de la mano de la protección del medio ambiente. Uno de los problemas ambientales de la actualidad es la degradación de los servicios ecosistémicos del suelo provocados por el desarrollo agrícola, urbano e industrial. Un criterio que ayuda a determinar el grado de degradación del suelo es la valoración de la salud de este; es por eso que recomendamos adoptar la “evaluación de la salud del suelo” como una herramienta para la toma de medidas encaminadas a mejorar la productividad y la condición de la tierra.

El objetivo de este trabajo es explorar las diferentes metodologías disponibles en la literatura para la evaluación de la salud edáfica y discernir cuál de ellas es la que más se ajusta a la realidad de nuestro campo y de nuestro caficultor colombiano. Cabe resaltar que la información disponible en el contexto de los agroecosistemas cafeteros es escasa, razón por la cual se precia la necesidad de recopilar información relacionada.

Este trabajo está dividido en varias secciones, iniciando con la descripción del planteamiento del problema, donde se expone la necesidad de contar con información confiable para la toma de decisiones acertadas con respecto a la gestión del suelo. Posteriormente se justifica la motivación que llevó a la realización del presente trabajo. Seguidamente encontramos los objetivos que definen el alcance de la monografía. Se presenta el desarrollo metodológico para llevar a cabo la consecución de los objetivos propuestos. Luego se realiza una breve reseña sobre los servicios ecosistémicos y se describe en forma general el papel del suelo como proveedor de servicios ecosistémicos, los conceptos de calidad y salud del suelo, el concepto de suelo, cuáles son las características de un suelo saludable, cuáles son las metodologías disponibles para la evaluación de la salud del suelo (SH) y finalmente terminamos con los capítulos de resultados y conclusiones donde se realizan el análisis de 8 metodologías para la evaluación de la salud edáfica y se explica cómo se seleccionó el mejor método de evaluación y bajo que criterios.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

“El suelo es más que un soporte para las plantas: es un sistema vivo con innumerables interacciones entre los minerales, microorganismos, agua, plantas y aire; cuando hay un adecuado balance entre todos estos componentes, se tiene una productividad sostenible de los cultivos en términos económicos y sobre todo ambientales. Cuando esta interacción se desequilibra, los suelos comienzan a degradarse, reducen su productividad e incluso dejan de prestar servicios ecosistémicos tan valiosos como el secuestro de carbono y preservación del ciclo del agua, entre otros” (Urrea, 2018).

Un criterio que ayuda a determinar el grado de degradación del suelo, es la determinación de la salud de este (Tate, 1995); determinación que se logra con la aplicación de metodologías disponibles en las distintas fuentes bibliográficas y que ayudan al interesado a abordar de manera adecuada éste concepto. Cabe resaltar que la información disponible en el contexto de los agroecosistemas cafeteros es escasa, razón por la cual se precia la necesidad de recopilar información relacionada.

Contar con información confiable sobre estas metodologías que permiten valorar la salud del suelo, es crucial para el proceso de toma de decisiones tanto operativas como estratégicas, siendo éstas más certeras cuando están basadas en fuentes de información que ayudan al caficultor a reducir la incertidumbre y el riesgo (Castro, 2015).

2 JUSTIFICACIÓN

La “salud” puede entenderse como la condición de un organismo o alguna de sus partes de mantener normales sus funciones y propiedades vitales. En consecuencia la salud de suelo hace referencia a la “autorregulación”, estabilidad y resiliencia del suelo como un ecosistema (Banegas, 2014).

La salud de los suelos es un factor preponderante y crítico en la biosfera terrestre. El suelo no solo participa en la producción de alimentos, sino que éste tiene variadas funciones y servicios ecosistémicos a considerar: purificación de aguas, secuestro del carbono, circulación de nutrientes, la provisión de hábitats para biodiversidad entre otros (Doran & Parkin, 1994).

Determinar la salud de los suelos en los que se van a desarrollar cultivos se considera un factor determinante para los agricultores porque a través de análisis físicos, químicos y biológicos del suelo se pueden implementar mejores prácticas para garantizar una sostenibilidad ambiental; conocer cómo está la salud del suelo puede evitar por ejemplo fertilizaciones innecesarias o sobrecostos en un cultivo determinado (Bünemann et al., 2018).

La salud del suelo no se puede determinar midiendo solo el rendimiento de los cultivos, la calidad del agua o cualquier otro resultado individual. La salud del suelo no se puede medir directamente a través de los diferentes indicadores; la valoración conjunta de todos estos factores es la que la determina (Friedman et al., 2001).

Comprender los efectos de la salud del suelo en la calidad de cultivos de alto valor como el café puede permitir a los caficultores recibir beneficios financieros impulsado por la diferenciación de productos y primas de precio (Rekik et al., 2019).

Este trabajo recopila, organiza y sintetiza la información disponible acerca de las múltiples metodologías desarrolladas para la evaluación de la salud del suelo; con el objeto de proporcionar a los interesados un insumo que les facilite la toma de decisiones informadas en relación con la gestión del suelo.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar las metodologías disponibles para la evaluación de la salud del suelo en agroecosistemas cafeteros.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información de artículos o publicaciones nacionales o internacionales sobre metodologías de evaluación de la salud edáfica.
- Sintetizar la información recolectada en un documento de fácil comprensión y consulta.
- Proporcionar una guía de consulta sobre metodologías para evaluación de la salud del suelo en agroecosistemas cafeteros.

4 METODOLOGÍA

A continuación, se presenta el desarrollo metodológico para llevar a cabo la consecución de los objetivos:

Objetivo 1: La recopilación de la información de artículos o publicaciones hizo través de la búsqueda en bases de datos institucionales, bases de datos Scopus, ScienceDirect, y con el motor de búsqueda Google Scholar; en cada uno de ellos se incorporarán palabras clave y conectores booleanos para limitar el alcance de la búsqueda.

Ecuaciones de búsqueda utilizadas:

- salud+del+suelo or soil+health+test
- metodología+para+determinar+la+salud+del+suelo+o+calidad+del+suelo

Palabras clave: salud del suelo, soil health test, calidad del suelo, agroecosistemas cafeteros, servicios ecosistémicos.

Objetivo 2: La información recopilada se organizó y sintetizó distinguiendo las ideas más importantes del resto, resumiendo los conceptos, enumerando las ideas relevantes, las secundarias y así sucesivamente, finalmente ordenando las metodologías en orden de importancia basado en los siguientes criterios:

- a. Precisión, consistencia y reproducibilidad
- b. Bajo costo de implementación
- c. Facilidad y rapidez de implementación
- d. Fácil interpretación de resultados

Objetivo 3: Para proporcionar una guía de consulta sobre metodologías para evaluación de la salud del suelo en agroecosistemas cafeteros; el presente trabajo se redactó en un lenguaje sencillo, de fácil comprensión y los capítulos se desarrollaron de tal forma que el consultor puede partir desde los conceptos más generales hacia los temas particulares.

5 MARCO TEÓRICO

5.1 ANTECEDENTES

Algunos autores atribuyen a pensadores griegos presocráticos como los primeros en hacer hincapié en el estudio de la naturaleza física, y a Platón le atribuyen el vínculo de la humanidad con la naturaleza (Zubiri, 1988). Pero la concepción clave que dio pie a la llamada edafología moderna fue considerar a los suelos como cuerpos naturales dinámicos, ésta se inició con la escuela rusa de Dockuchaev (1893) y su discípulo Konstantin D. Glinka (1927), generando un cambio con la noción del suelo como material estático o sustrato (Lorenz, 2015).

El término *funciones del suelo* y el concepto de *multifuncionalidad del suelo* fue introducido por primera vez por Schlichting en 1972. Schlichting adoptó conceptos establecidos en el sector forestal, similares al documentado por Endres (Endres, 1905). En 1977, Niemann identifica las funciones de producción forestal, meteorológicas, hidrológicas, éticas, higiénicas, estéticas y de infraestructura. En 1978 Brümer desarrollo el concepto de funciones del suelo (Lehmann, 2010)

El término *servicios de los ecosistemas* apareció por primera vez en un libro popular en 1981, y en 1983 en el artículo científico “Extinction, Substitution, and Ecosystem Services” de Ehrlich y Mooney (Ehrlich & Mooney, 1983).

Tras una publicación de Larson y Pierce en 1994, el concepto de *funciones del suelo* se generalizó a nivel global. Posteriormente se reportó que, en los ambientes urbanos, el suelo puede funcionar en la protección contra daños por tormentas, descomposición microbiana de contaminantes orgánicos, inmovilización de contaminantes inorgánicos, producción de recursos renovables como el aire y el agua, inmovilización del polvo, secuestro de carbono, soporte de vegetación exótica, lugar de esparcimiento y como archivo geológico e histórico y en 1998, la República Federal de Alemania introdujo la Ley de protección del suelo de Alemania (Ministerio Federal de Justicia 1998) (Gallegos et al., 2014).

En 2006 La Comisión Europea discutió una ley de protección del suelo basada en la protección de las siguientes funciones del suelo.

- Producción de biomasa, incluida la agricultura y la silvicultura
- Almacenamiento, filtrado y transformación de nutrientes, sustancias y agua
- Reserva de biodiversidad, a nivel de hábitats, especies y genes
- Entorno físico y cultural para los seres humanos y para las actividades humanas
- Fuente de materias primas
- Función como reserva de carbono
- Archivo de patrimonio geológico y arqueológico

Estos conceptos y los sugeridos por Warkentin fueron las bases a partir de las cuales la Sociedad de Ciencias del Suelo de América estableció el concepto de calidad del suelo, (Doran & Parkin, 1994).

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente y el Desarrollo - Río '92 (UNCED) marcó un hito muy especial al establecer la necesidad de desarrollar y aplicar diferentes metodologías para determinar el estado del ambiente y monitorear los cambios ocurridos a nivel local, nacional, regional y mundial.

La aplicación del Capítulo 40 de la Agenda 21 condujo al desarrollo de diversas metodologías que determinaron el uso generalizado de indicadores e índices para la evaluación de la calidad ambiental, calidad de suelos, sustentabilidad, desarrollo sustentable, riesgo, vulnerabilidad, planificación territorial, entre otros (Kolbasov, 1992).

Segnestam en 2002 a partir de la experiencia realizada por el Banco Mundial señaló la importancia de establecer: la línea de base o de inicio de una actividad que puede impactar positiva o negativamente sobre el ambiente; umbrales para controlar o hacer el seguimiento de impactos negativos que no deben exceder un predeterminado límite y además objetivos o metas que permitan evaluar si el impacto positivo de una respuesta es suficientemente largo.

La relación de los ecosistemas con los ecosistemas-sociedad y el bienestar humano, mediante el uso del concepto de servicios ecosistémicos, ha sido abordada con mayor énfasis en los últimos años, tanto en el ámbito científico, como también en el contexto de la gestión ambiental pública y la toma de decisiones. Un gran impulso para este interés lo constituyó la publicación en el año 2005 del reporte internacional Millenium Ecosystem Assessment (MEA) donde se presentó los servicios de los ecosistemas al público en general como “los beneficios que obtienen las personas de los ecosistemas” (E Dominati et al., 1997).

Estelle Dominati desarrolló un marco para clasificar y cuantificar el capital natural del suelo y los servicios de los ecosistemas (Estelle Dominati et al., 2010).

5.2 CONSIDERACIONES TÉCNICAS

5.2.1 Descripción general del papel del suelo como proveedor de servicios ecosistémicos y en la agricultura de conservación

La definición del concepto de *servicios ecosistémicos* se remonta desde finales del siglo XIX, cada uno de los autores en distintos momentos de la historia expresó su manera de ver el vínculo que hay entre la naturaleza como proveedor de bienestar y el hombre; aquí algunos ejemplos:

Westman: “servicios de la naturaleza”; propone que se podía enumerar el valor social de los beneficios proporcionados por los ecosistemas, para contribuir a que la sociedad tomara decisiones de gestión y de política más informadas (Westman, Walter, 1977)

Gretchen C. Daily: las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que lo constituyen, sustentan y satisfacen a la vida humana (Daily et al., 1997).

Robert Costanza: los servicios de los ecosistemas consisten en flujos de materiales, energía e información de las reservas de capital natural que se combinan con servicios de capital humano para producir bienestar (Costanza et al., 1997).

De Groot: funciones del ecosistema; capacidad de los procesos y componentes naturales para proporcionar bienes y servicios que satisfacen las necesidades humanas, directa o indirectamente (De Groot et al., 2002).

MEA: los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas (Marc et al., 2003).

EPA: aquellas funciones o procesos ecológicos que directa o indirectamente contribuyen al bienestar humano o tienen un potencial para hacerlo en el futuro (U.S. EPA, 2004)

James Boyd: son componentes de la naturaleza, disfrutados, consumidos o directamente usados para producir bienestar humano (Boyd & Banzhaf, 2007).

Brendan Fisher: son los aspectos de los ecosistemas utilizados (activa o pasivamente) para producir bienestar humano (Fisher et al., 2009).

E. Dominati: desarrolla un marco para clasificar y cuantificar el capital natural del suelo y los servicios de los ecosistemas (ver Figura 1).

AM Breure: el concepto de servicios ecosistémicos como una poderosa herramienta en la formulación de políticas del suelo (Breure et al., 2012).

Figura 1. Clasificación de los servicios ecosistémicos del suelo (E Dominati et al., 1997)

Servicio	Definición
Servicios de aprovisionamiento	<p>Suministro de alimentos, madera y fibra</p> <p>Los suelos apoyan físicamente a las plantas y les suministran nutrientes y agua. Al permitir que las plantas crezcan, los suelos permiten a los seres humanos utilizar las plantas para una diversidad de propósitos.</p> <p>Suministro de materias primas</p> <p>Los suelos pueden ser fuente de materias primas (turba, arcilla), pero la renovabilidad de estas poblaciones es cuestionable.</p> <p>Prestación de apoyo a las infraestructuras humanas y a los animales.</p> <p>Los suelos representan la base física sobre la que se encuentran las infraestructuras humanas y los animales (por ejemplo, el ganado).</p>
Regulación de servicios	<p>Mitigación de inundaciones</p> <p>Los suelos tienen la capacidad de almacenar y retener agua, mitigando así las inundaciones.</p> <p>Filtrado de nutrientes y contaminantes</p> <p>Los suelos pueden absorber y retener nutrientes (N, P) y contaminantes (E-coli, pesticidas) y evitar su liberación en cuerpos de agua.</p> <p>Regulación del almacenamiento de carbono y los gases de efecto invernadero</p> <p>Los suelos tienen la capacidad de almacenar carbono y regular su producción de gases de efecto invernadero como el óxido nitroso y el metano.</p> <p>Desintoxicación y reciclaje de residuos</p> <p>Los suelos pueden absorber (físicamente) o destruir compuestos dañinos. La biota del suelo degrada y descompone la materia orgánica muerta, reciclando así los desechos.</p> <p>Regulación de poblaciones de plagas y enfermedades</p> <p>Al proporcionar hábitat a especies beneficiosas, los suelos pueden controlar la proliferación de plagas (cultivos, animales o seres humanos) y vectores de enfermedades nocivas (virus, bacterias).</p>

Según lo establece la Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (MINAMBIENTE, 2012) los servicios ecosistémicos se definen como: “aquellos procesos y funciones de los ecosistemas que son percibidos por el humano como un beneficio (de tipo ecológico, cultural o económico) directo o indirecto. Incluyen aquellos de aprovisionamiento, como comida y agua; servicios de regulación, como la regulación de las inundaciones, sequías, degradación del terreno y enfermedades; servicios de sustento como la formación del sustrato y el reciclaje de los nutrientes; y servicios culturales, ya sean recreacionales, espirituales, religiosos u otros beneficios no materiales”.

5.2.2 Importancia de la gestión sostenible del suelo

“El suelo es elemento fundamental de las estructuras ecológicas y síntesis del estado del ecosistema y como tal su manejo adecuado es fundamental para el éxito de las demás políticas ambientales. Desempeña un papel fundamental en el sustento de la sociedad y las personas y, por tanto, su degradación afecta el bienestar de la población. La conservación y el manejo sostenible del suelo son indispensables para lograr el bienestar de la población y está interrelacionado con el éxito o el fracaso de numerosas políticas públicas, entre estas, las relacionadas con los sectores agropecuario, minero, de vivienda, desarrollo urbano y agua potable, de industria y comercio, de transporte y, salud, entre otros. Adicionalmente, la gestión sostenible del suelo es fundamental para consolidar los procesos de paz en el país” (MINAMBIENTE, 2016).

5.2.3 Conceptos de Calidad y Salud del Suelo

CALIDAD DEL SUELO

El concepto de calidad del suelo está relacionado con las funciones y el uso de este, siendo atributo de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Calidad de suelo es la capacidad de este de funcionar con su ecosistema y su uso, sustentando la productividad biológica, la calidad del ambiente, la salud de las plantas y animales y la población (Doran & Parkin, 1994). En el término calidad del suelo se reconoce y remarca las funciones del suelo: promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible); atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y favorecer la salud de plantas, animales y humanos (Doran & Parkin, 1994), (Karlen et al., 1997) Al desarrollar este concepto, también se ha considerado que el suelo es el substrato básico para las plantas; capta, retiene y emite agua; y es un filtro ambiental efectivo (Buol, 1995).

SALUD DE SUELO

El bienestar de los suelos es crucial para asegurar la producción de alimentos en todo el mundo. El concepto de salud del suelo (SH) se ha introducido debido a la evolución de la comprensión de que el suelo no es sólo un medio para los cultivos, sino que proporciona una base para otros servicios ecosistémicos esenciales (SE) (Rinot et al., 2019).

Los términos salud y calidad de suelo, son a menudo usados como sinónimos, pero actualmente los mismos involucran dos aspectos distintos del suelo. Salud de suelo puede ser definida como su habilidad de “funcionar” y “tener rendimientos” de acuerdo con su potencial, aun contemplando los cambios en el tiempo dados por el uso y manejo humano o por eventos naturales. La salud es definida como la condición de

un organismo o alguna de sus partes de mantener normales sus funciones y propiedades vitales. Es decir, que la salud de suelo hace referencia a la “auto-regulación”, estabilidad y resiliencia del suelo como ecosistema. El termino salud de suelo describe la integridad biológica de la comunidad del suelo, es decir el balance entre los organismos del suelo y el ambiente (Banegas, 2014), "Salud del suelo: gestión del componente biológico de la calidad del suelo" (Doran & Zeiss, 2011) (Larkin, 2015).

5.2.4 Qué es el suelo, características de un suelo saludable

¿Qué es el suelo?

El suelo está en la base de todo lo que nosotros y otros tipos de vida necesitamos para vivir, incluye alimentos, fibra, hábitat, refugio, espacio recreativo, aire limpio, agua, y más (Hall, 2017).

El suelo es una interfaz dinámica entre la litosfera (roca), la atmósfera (aire), la hidrosfera (agua) y la biosfera (seres vivos). Es la zona en la que interactúan las rocas y los organismos, y el aire y el agua que se mueven dentro y a través de ellos y alrededor de ellos. El suelo no es sólo las partes físicas que lo componen, sino también las interacciones activas entre sus diversos y partes químicas. Las características de un suelo determinan cómo funciona ese suelo como base del ecosistema del que forma parte, ya sea natural o gestionado por los seres humanos. Cuando hablamos de la salud del suelo, nos preocupamos principalmente por los procesos interactivos involucrados en este funcionamiento y cómo la gestión humana influye en estos procesos (Hall, 2017).

Físicamente, el suelo se compone de una mezcla de materiales, incluyendo varios sólidos, aire y agua en proporciones variables (Figura 2). Los componentes sólidos del suelo incluyen fracciones minerales y orgánicas (tanto vivas como no vivas). Esta composición del suelo influye fuertemente en su funcionamiento.

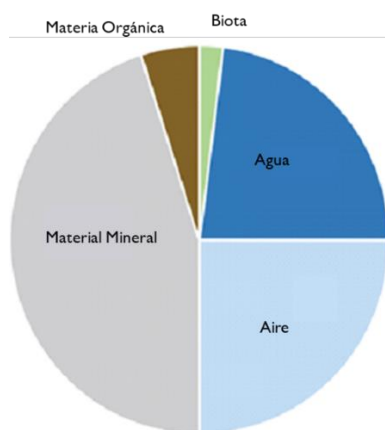


Figura 2. Composición del suelo

Los tipos de suelo en el mundo son variados. Se forman con las diversas influencias del clima local, los organismos, la topografía, la roca o el tipo de sedimento subyacente (material principal) y los efectos del tiempo. Las áreas de suelos similares se agrupan y etiquetan como una serie de suelos. Las series de suelos no están limitadas por límites geopolíticos, por lo tanto, una serie de suelos determinada no ocurre necesariamente dentro de los confines de un solo departamento. El mapa del suelo que delinea la serie de suelos informa al administrador de la tierra de la calidad inherente del suelo, que no se puede cambiar a través de la gestión del suelo. Según el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS) (Hall, 2017).

De acuerdo con el estudio de los conflictos de uso del territorio colombiano (IGAC, 2012) Colombia cuenta con 11 de los 12 órdenes de suelo establecidos en la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos - Servicio de Conservación de Recursos Naturales (USDA, 2014) lo cual hace más compleja su planificación en términos de la gestión sostenible. De otro lado, las estructuras geoecológicas y los procesos climáticos que generan los suelos colombianos son complejos. Cabe señalar que, el programa de levantamiento de suelos del IGAC, ha generado mapas temáticos que han permitido entender la geografía de los suelos de la nación y establecer su vocación en términos de la producción agrícola, pecuaria y forestal teniendo como base la preservación de la calidad del suelo (MINAMBIENTE, 2016).

Características de un suelo saludable (Hall, 2017)

Buena inclinación del suelo

La inclinación del suelo se refiere al carácter físico general del suelo en el contexto de su idoneidad para la producción de cultivos. El suelo con buena inclinación es desmenuzado, bien estructurado, con materia orgánica oscura, y no tiene grumos grandes y duros (Figura 3).



Figura 3. Buena inclinación del suelo

Profundidad suficiente

La profundidad suficiente se refiere a la extensión del perfil del suelo a través del cual las raíces son capaces de crecer para encontrar agua y nutrientes. Un suelo con una profundidad poco profunda como resultado de una capa de compactación o erosión es

más susceptible a daños en fluctuaciones climáticas extremas, predisponiendo así el cultivo a inundaciones, patógenos o estrés por sequía.

Buen almacenamiento de agua y buen drenaje

Durante una lluvia intensa, un suelo sano aceptará y almacenará más agua en poros pequeños, pero también drenará el agua más rápidamente de los poros grandes. Por lo tanto, un suelo sano conservará más agua para la absorción de las plantas durante los tiempos secos, pero también permitirá que el aire vuelva a moverse rápidamente después de las lluvias, para que los organismos puedan seguir prosperando.

Suministro suficiente, pero no exceso de nutrientes

Un suministro adecuado y accesible de nutrientes es necesario para un crecimiento óptimo de la planta y para mantener un ciclo equilibrado de nutrientes dentro del sistema. Un exceso de nutrientes puede provocar lixiviación y posible contaminación de las aguas subterráneas, escorrentías elevadas y pérdidas de gases de efecto invernadero, así como toxicidad para las plantas y comunidades de microorganismos.

Pequeña población de patógenos vegetales y plagas de insectos

En los sistemas de producción agrícola, los patógenos y plagas de plantas pueden causar enfermedades y daños al cultivo. En un suelo sano, la población de estos organismos es baja o es menos activa. Esto podría resultar de la competencia directa de otros organismos del suelo para nutrientes o hábitat, hiperparasitismo, etc. Además, las plantas sanas son más capaces de defenderse contra una variedad de plagas.

Gran población de organismos beneficiosos

Los organismos del suelo son importantes para el funcionamiento del suelo. Ayudan con el ciclo de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica, el mantenimiento de la estructura del suelo, la supresión biológica de las plagas de las plantas, etc. Un suelo sano tendrá una población grande y diversa de organismos beneficiosos para llevar a cabo estas funciones y así ayudar a mantener un estado de suelo saludable.

Baja presión de la hierba

La presión de la hierba es una restricción importante en la producción de cultivos. Las semillas de este tipo compiten con los cultivos por el agua y los nutrientes que son esenciales para el crecimiento de las plantas. Las malas hierbas pueden bloquear la luz solar, interferir con las operaciones de siembra, cosecha y albergar enfermedades que causan patógenos y plagas.

Libre de sustancias químicas y toxinas que puedan dañar el cultivo

Los suelos sanos carecen de cantidades excesivas de sustancias químicas y toxinas nocivas, o pueden desintoxicar o enlazar dichos productos químicos. Estos procesos

hacen que estos compuestos dañinos no estén disponibles para la absorción de plantas, debido a la riqueza del suelo en materia orgánica estable y diversas comunidades microbianas.

Resistente a la degradación

Un suelo sano y bien agregado lleno de una comunidad diversa de organismos vivos es más resistente a los eventos adversos, incluyendo la erosión por el viento y la lluvia, el exceso de lluvia, la sequía extrema, la compactación de vehículos, el brote de enfermedades y otras influencias potencialmente degradantes.

Resiliencia cuando se producen condiciones desfavorables

Un suelo sano se recuperará más rápidamente después de un evento negativo, como la cosecha en condiciones de suelo húmedo, o si las restricciones de la tierra restringen o modifican las rotaciones planificadas.

5.2.5 Metodologías de evaluación de la salud del suelo

El suelo saludable no sólo incrementa los rendimientos de las cosechas: también limpia y almacena agua; previene escurrimiento y erosión; y aprovecha los nutrientes con más eficiencia, reduciendo la necesidad de pesticidas (USDA, 1999).

Para ser útil para los agricultores y los productores, los métodos para evaluar la salud del suelo no sólo deben medir algo, sino que también deben proporcionar información que pueda utilizarse para formar la base sobre la que se puedan formular recomendaciones para las intervenciones de gestión (Wood & Litterick, 2017).

- a. **Evaluación Integral de la Salud del Suelo de Cornell (CASH):** es un concepto que se ocupa de la integración y optimización de los procesos químicos, físicos y biológicos del suelo (Figura 4) que son importantes para una productividad sostenida y la calidad ambiental (Hall, 2017).

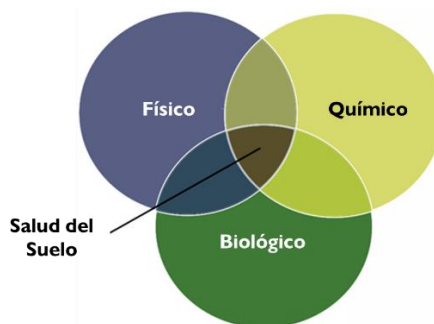


Figura 4. El concepto de salud del suelo se ocupa de integrar los componentes físicos, biológicos y químicos del suelo.

Estas mediciones incluyen textura del suelo (para ayudar a interpretar otros indicadores medidos), capacidad de agua disponible, resistencia del campo a la penetración, estabilidad agregada húmeda, contenido de materia orgánica, proteínas del suelo, respiración, carbón activo y evaluación del contenido de macro y micronutrientes. Hay indicadores adicionales disponibles como complementos, incluyendo la presión de patógenos radiculares, salinidad y sodicidad, metales pesados, boro y nitrógeno potencialmente mineralizable. (Figura 5); y se evalúan para mejorar: la sensibilidad a los cambios en las prácticas de gestión del suelo, capacidad de representar procesos de suelo de importancia agronómica y ambiental, la consistencia y reproducibilidad, la facilidad y el costo de muestreo, el costo de análisis, la facilidad de interpretación para los usuarios (Schindelbeck et al., 2016).

Físico	Biológico	Químico
Textura	Evaluación de la presión de patógenos radicular	Nitrato de fósforo
Densidad a granel	Población de nematodos benéficos	Nitrógeno
Macroporosidad	Población de nematodos parásitos	potasio
Mesoporosidad	Nitrógeno potencialmente mineralizable	pH
Microporosidad	Tasa de descomposición de celulosa	Magnesio
Capacidad de agua disponible	Materia orgánica particulada	Calcio
Porosidad residual	Carbono activo	Hierro
Resistencia a penetración a 10 kPa	Banco de semillas de hierba	Aluminio
Conductividad hidráulica saturada	Tasa de respiración microbiana	Manganeso
Tamaño agregado seco (<0,25 mm)	Proteínas del suelo	Zinc
Tamaño agregado seco (0,25 - 2 mm)	Contenido de materia orgánica	Cobre
Tamaño agregado seco (2 - 8 mm)		Acidez intercambiable
Estabilidad del agregado húmedo (0,25 - 2 mm)		Salinidad
Estabilidad del agregado húmedo (2 - 8 mm)		Sodicidad
Dureza superficial con penetrómetro		Metales pesados
Dureza subsuperficial con penetrómetro		
Infiltrabilidad de campo		

Figura 5. Indicadores para la evaluación de la salud del suelo (Hall, 2017).

La puntuación global del índice de salud del suelo (SH) para cada muestra de suelo se calcula como la media aritmética no ponderada de todas las puntuaciones individuales del indicador.

Esta metodología también tiene aplicación para la evaluación de la salud del suelo en agroecosistemas cafeteros colombianos (Rekik et al., 2018).

- b. **Evaluación de la salud del suelo de Haney** (Haney et al., 2019): La prueba de Haney fue desarrollada por Rick Haney del Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en Temple, Texas.

La prueba de Haney utiliza extractos de suelo únicos en el laboratorio para determinar qué cantidad de nutrientes del suelo están disponibles para los microorganismos del suelo. Esta prueba también evalúa los indicadores de salud del suelo como la respiración del suelo (prueba de explosión de CO₂ Solvita), carbono orgánico soluble en agua y nitrógeno orgánico y su proporción. Estos resultados indican la cantidad de alimento que está fácilmente disponible para los microbios del suelo y es sensible a la medición de exudados de raíces y material orgánico descompuesto. Estos números deben usarse como una comparación a lo largo del tiempo para determinar el progreso en la mejora de la salud del suelo.

Otros resultados de la prueba incluidos en la prueba de Haney son: nitrato, amoníaco, fosfato, aluminio, hierro, fósforo, calcio, magnesio y sodio.

La puntuación de la salud del suelo se calcula en función de la respiración del suelo, el carbono y el nitrógeno extraíbles del agua. Este puntaje se puede usar para comparar esa ubicación específica del suelo a lo largo del tiempo o comparar entre diferentes prácticas de manejo del sitio. El objetivo es mejorar el puntaje de salud del suelo mediante la utilización de prácticas de construcción del suelo como la labranza cero y cultivos de cobertura.

Es necesaria la calibración de los resultados de la prueba, ya que la prueba de Haney utiliza extractos diferentes en comparación con los laboratorios tradicionales de análisis de suelos. Los números generados en el informe de salud del suelo deben relacionarse con la cantidad de fertilizante que se necesita para lograr el rendimiento potencial del cultivo.

Se debe tener precaución al seguir la cantidad de nutrientes disponibles para las recomendaciones del próximo cultivo. Debe usarse pequeñas tiras de prueba para comparar la tasa de nutrientes de Haney con su tasa de fertilizante normal antes de comprometer grandes superficies.

La importancia de la prueba de Haney radica en determinar una línea de base de la salud del suelo para esa ubicación. Es importante estandarizar la época del año y la rotación de cultivos al comparar a lo largo del tiempo.

- c. **La evaluación de la salud del suelo de Oshri Rinot** comprende tres pasos principales, como se ilustra detalladamente en la figura 6: (1) selección, medición y minimización del conjunto de atributos pertinentes del suelo; (2) cuantificación de los atributos del suelo seleccionados mediante la medición directa y la asignación de una puntuación apropiada; y (3) integración entre los

atributos puntuados para construir el índice final, proporcionando criterios para definir el peso de cada atributo o grupo de atributos.

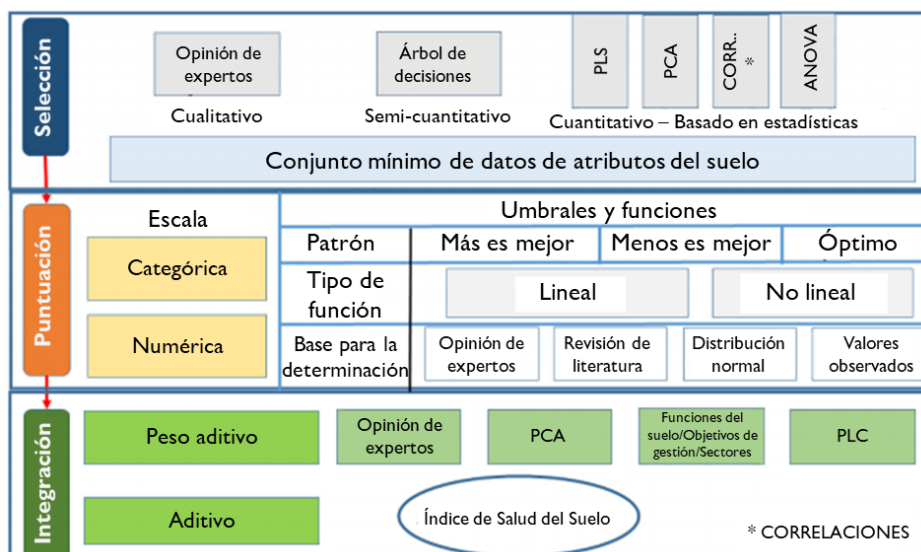


Figura 6. Principales pasos y enfoques utilizados actualmente para la evaluación del índice de salud del suelo (Rinot et al., 2019)

La selección de los atributos más relevantes para describir el estado de SH y construir el índice SH es un paso crucial porque sirven como bloques de compilación para el índice SH.

El **valor medido** de un atributo específico se puede convertir en una calificación numérica o categórica sin unidad, que representa el estado relativo del atributo en cuestión

En el paso de **integración** se determina la contribución relativa de cada atributo a la puntuación general. Los modelos de regresión proporcionarán un cierto coeficiente para cada atributo, que expresa su contribución a cada servicio ecosistémico.

- d. **Prueba de salud del suelo SoilBio** (SoilEssentials, n.d.): método innovador para comprender la biodiversidad de su suelo y medir la salud para una buena gestión del suelo a largo plazo.

Microorganismos como los nematodos (gusanos redondos) juegan un papel muy importante en la calidad del suelo y en la producción de plantas, proporcionando indicadores efectivos de la fertilidad y salud del suelo. La presencia y vitalidad de las comunidades de nematodos puede verse muy influenciada por el manejo de cultivos y suelos.

Utilizando años de imágenes satelitales para determinar la variación de campo para muestreo dirigido, SoilBio™ extrae y analiza el perfil de ADN de las comunidades de nematodos de muestras de suelo para proporcionar una evaluación de la salud del suelo. Mientras que las medidas químicas y físicas del suelo proporcionan un indicativo instantáneo (momento muy corto en el tiempo), los datos biológicos de las comunidades de nematodos son un reflejo de meses o años.

SoilBio™ proporcionará una alternativa para los agrónomos y agricultores que hasta ahora han dependido tradicionalmente de las pruebas de suelo basadas en la química. SoilBio™ muestra vínculos entre las propiedades físicas del suelo y sus comunidades de nematodos mucho mejor que los observados usando la química. La extrapolación de esta información podría ofrecer una idea de las futuras comunidades biológicas del suelo. Una prueba de suelo, basada en el perfil de ADN de nematodos, también ofrece un alto rendimiento y, en algunos casos, una respuesta más rápida de la prueba.

- e. **La prueba de salud del suelo en el laboratorio de Brookside** (Brookside Laboratories inc., n.d.) está diseñada para trabajar con cualquier suelo bajo cualquier escenario de manejo porque el programa hace preguntas simples y de aplicación universal. Los métodos utilizan la biología y la química de la naturaleza mediante el uso de un indicador de actividad microbiana del suelo, un extracto de agua del suelo (disolvente de la naturaleza) y el extractante de ácido orgánico H3A, que imita la producción de ácidos orgánicos por las raíces de las plantas vivas para cambiar temporalmente el pH en el área alrededor de las raíces aumentando así la disponibilidad de nutrientes. Estos ácidos orgánicos luego son degradados por los microbios del suelo, ya que son una excelente fuente de carbono, que devuelve el pH del suelo a su nivel ambiental natural. La prueba utiliza un enfoque integrado para las pruebas del suelo, que refleja el complejo ecosistema del suelo, en lugar de depender de la medición estrecha de N, P y K inorgánicos. El enfoque integrado se controla de forma natural para que el N y el P no excedan lo que está disponible en las reservas de N y P orgánicos. Además, la disponibilidad de micronutrientes se puede evaluar junto con una determinación de cal utilizando una extracción que es mucho menos "dura" que la metodología actual de análisis de suelos.

¿Para qué se puede utilizar la prueba del suelo?

- Se puede utilizar para comparar la condición de dos fincas que se están considerando para compra o alquiler. Si el precio de compra / alquiler es el mismo, entonces la finca con los mejores indicadores de salud del suelo tendrá más "rentabilidad".
- Puede usarse para evaluar una práctica de manejo (es decir, labranza versus labranza cero, cultivos de cobertura versus cultivos sin cobertura, estiércol versus no estiércol, etc.)(Karlen et al., 1994).
- La prueba se puede utilizar para solucionar problemas en áreas "problemáticas" dentro de un campo porque proporciona información tanto biológica como química.

- La prueba de salud del suelo se puede usar para hacer recomendaciones de N, P, K y cal.

Cálculo de la salud del suelo: este número se calcula como CO₂-C de un (1) día dividido por la relación C:N orgánico más una adición ponderada de C y N orgánico. Representa la salud general de su sistema. Este número debe estar por encima de 7, hay suelos en los que es posible que nunca se pueda alcanzar 7 (es decir, suelos arenosos), mientras que en otros suelos puede ser mucho más alto. Tomar una muestra de un área nativa o no perturbada puede ayudar a medir cuál debería ser este valor en los suelos en que se trabaja. Además, realizar un seguimiento de este valor permitirá medir los efectos de los cambios en las prácticas de gestión a lo largo plazo (ver figura 7).

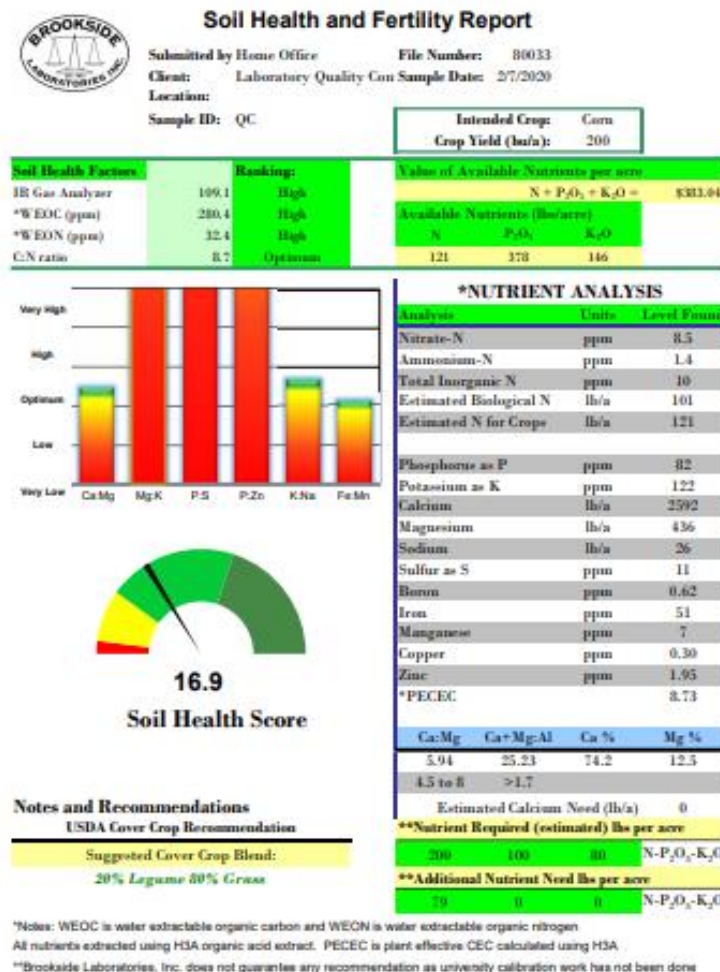


Figura 7. Reporte sobre la salud del suelo de Brookside (Brookside Laboratories inc., n.d.)

- f. **Proteína del suelo como indicador rápido de la salud del suelo, nitrógeno orgánico potencialmente disponible** (Hurisso et al., 2018): El mayor interés en la

evaluación práctica y rutinaria de la salud del suelo ha creado la necesidad de indicadores rápidos y baratos que reflejen el nitrógeno del suelo (N). El método consiste en la medición de proteínas del suelo como un indicador en una área funcionalmente relevante y sensible de N orgánico que se puede cuantificar rápidamente en laboratorios de ensayos de suelo. El procedimiento se basa en un método que se utilizó históricamente para medir la "glomalina". Por lo tanto, la reserva de proteínas extraídas por este método puede verse más ampliamente como un indicador de salud del suelo, N unido orgánicamente en el suelo y, por lo tanto, como N orgánico potencialmente disponible.

El procedimiento de proteína del suelo es un método rápido que requiere sólo una pequeña cantidad de suelo para el análisis, utiliza reactivos baratos, requiere instrumentación relativamente simple, y es susceptible a un marco de alto rendimiento necesario para su adopción en laboratorios comerciales de pruebas de suelos.

- g. **Evaluación de la salud del suelo de Franco Obando Moncayo** (Moncayo, 2011): este método propone evaluar 10 indicadores, cada indicador se debe ponderar en una escala del 1 al 10; donde 1 es la condición no deseada, 5 es la condición intermedia y 10 la condición deseada.

La siguiente tabla (Tabla 1) resume 10 indicadores a evaluar y las características a tener en cuenta para cada uno de los niveles de puntuación. El cálculo del índice global de la salud del suelo se realiza sumando las puntuaciones obtenidas en cada uno de los indicadores y el resultado se divide entre el número de indicadores analizados.

Indicador	Puntuación										Observaciones	Nivel		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	5	10
1 El suelo tiene buena estructura y buena capa arable?												Terroso, polvoriento, masivo o laminar	Alguna estructura grumosa visible	Friable, grumosa
2 Esta el suelo libre de capas compactadas?												Un alambre... se tuerce fácilmente; capa endurecida obvia, raíces desviadas	Algunas restricciones para penetrar el alambre y el crecimiento de raíces	Fácil penetración de un alambre más allá de la capa cultivable
3 El suelo es trabajado fácilmente?												Se requieren muchos pases y mucha potencia	Se requiere una cantidad media de potencia y de pases	Se prepara fácilmente; requiere muy poca potencia para tirar los implementos de labranza
4 El suelo está lleno de organismos vivos												Poca vida en el suelo o no observable	Algunas criaturas móviles del suelo	El suelo está lleno una variedad de organismos vivos
5 Las lombrices son abundantes en el suelo?												Ninguna lombriz	Pocas lombrices, huecos de lombrices o deyecciones	Muchas lombrices, huecos de lombrices y deyecciones
6 Hay presencia de residuos y en descomposición?												Ningún residuo o no en descomposición por largos períodos	Algunos residuos de plantas de lenta descomposición	Residuos en todas las etapas de descomposición, olor terroso, dulce
7 Los cultivos se encuentran saludables y vigorosos?												Crecimiento estancado, decoloración, parte des uniforme (uneven stand)	Algún crecimiento restringido, desigual (uneven) decoloración ligera	Plantas creciendo saludablemente, vigorosa y uniformemente
8 Las raíces de las plantas crecen bien?												Estructura y crecimiento pobre de raíces, raíces pardas y mushy	Algunas raíces finas, la mayoría saludables	Sistema radicular saludable, vigorosa, con un color deseable
9 El agua infiltra rápidamente												Agua en la superficie por largos periodos después de una lluvia ligera	El agua dreña lentamente, algún encharcamiento	Ningún encharcamiento después de un lluvia pesada o irrigación
10 El agua está disponible para el crecimiento de las plantas?												Suelo reseco, requiere irrigación frecuente	Grado moderado de disponibilidad de agua	Cantidad adecuada de agua disponible al tiempo adecuado
11 Otro ? _____														

Tabla 1. Carta para la evaluación de la salud del suelo (Moncayo, 2011).

- h. **Evaluación de la salud del suelo de Altieri (Altieri & Nicholls, 2002):** esta metodología para el diagnóstico de la calidad del suelo y la salud del cultivo en plantaciones de café consiste en usar indicadores sencillos y específicos aplicables a una gran diversidad de agroecosistemas de varias regiones. Los indicadores utilizados son fáciles y prácticos de utilizar por los caficultores. Además, son precisos y fáciles de interpretar, sensitivos a los cambios ambientales y al impacto de las prácticas de manejo sobre el suelo y el cultivo, integran propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y pueden relacionarse con procesos del ecosistema, por ejemplo determinan la relación entre diversidad vegetal y estabilidad de poblaciones de plagas (Altieri M. A., 1995).

Quizás lo más importante es que, una vez aplicados los indicadores, cada caficultor puede visualizar el estado de su finca, determinando para cada atributo del suelo o de las plantas, el estado con relación a un umbral preestablecido. Cuando la metodología se aplica en varias fincas, resulta muy útil para los caficultores porque les permite comprender las razones por las cuales algunas fincas tienen una respuesta ecológica superior a otras, y qué medidas implementar para mejorar aquellos aspectos en que los indicadores mostraron valores bajos.

Una vez definidos los requerimientos de sostenibilidad de los cafetales (diversidad de cultivos, cobertura de suelo, cantidad adecuada de materia orgánica(Reeves, 1997), baja incidencia de plagas, entre otros), se seleccionan diez indicadores para el suelo y diez de salud del cultivo.

Cada indicador se estima en forma separada y se le asigna un valor de 1, 5 o 10 (siendo 1 el valor menos deseable, 5 un valor medio y 10 el valor deseado) de acuerdo con las características que presenta el suelo o el cultivo, y los atributos a evaluar para cada indicador (Tabla 2)

Característica y valor establecido	Valor campo:
------------------------------------	--------------

SUELO

1. Estructura

Suelo polvoso, sin gránulos visibles (1)

Suelo suelto con pocos gránulos que se rompen al aplicar presión suave (5)

Suelo friable y granular, los agregados, mantienen la forma después de aplicar presión suave, aún humedecidos (10)

2. Compactación e infiltración

Compacto, se anega (1)

Presencia de capa compacta delgada, el agua se infiltra lentamente (5)

Suelo no compacto, el agua se infiltra fácilmente (10)

3. Profundidad del suelo

Subsuelo casi expuesto (1)

Suelo superficial delgado, con menos de 10 cm (5)
Suelo superficial más profundo, con más de 10 cm (10)

4. Estado de residuos

Presencia de residuos orgánicos que no se descomponen o lo hacen muy lentamente (1)
Se mantienen residuos del año anterior, en proceso de descomposición (5)
Residuos en varios estados de descomposición, residuos viejos bien descompuestos (10)

5. Color, olor y materia orgánica

Suelo pálido, con mal olor o químico, y no se observa la presencia de materia orgánica o humus (1)
Suelo pardo claro o rojizo, con poco olor y con algún grado de materia orgánica o humus (5)
Suelo de negro o pardo oscuro, con olor a tierra fresca, se nota presencia abundante de materia orgánica y humus (10)

6. Retención de humedad

Suelo se seca rápido (1)
Suelo permanece seco durante la época seca (5)
Suelo mantiene humedad durante la época seca (10)

7. Desarrollo de raíces

Raíces poco desarrolladas, enfermas y cortas (1)
Raíces con crecimiento limitado, se observan algunas raíces finas (5)
Raíces con buen crecimiento, saludables y profundas, con abundante presencia de raíces finas (10)

8. Cobertura de suelo

Suelo desnudo (1)
Menos de 50 % del suelo cubierto por residuos, hojarasca o cubierta viva (5)
Más del 50 % del suelo con cobertura viva o muerta (10)

9. Erosión

Erosión severa, se nota arrastre de suelo y presencia de cárcavas y canalillos (1)
Erosión evidente, pero poca (5)
No hay mayores señales de erosión (10)

10. Actividad biológica

Sin signos de actividad biológica, no se observan lombrices o invertebrados (insectos, arañas, cienpies, etc.) (1)
Se observan algunas lombrices y artrópodos (5)
Mucha actividad biológica, abundantes lombrices y artrópodos (10)

Promedio calidad de suelo

Valor campo:

CULTIVO

11. Apariencia

Cultivo clorótico o descolorido, con signos severos de deficiencia de nutrientes (1)
Cultivo verde claro, con algunas decoloraciones (5)
Follaje verde intenso, sin signos de deficiencia (10)

12. Crecimiento del cultivo

Cultivo poco denso, de crecimiento pobre. Tallos y ramas cortas y quebradizas. Muy poco crecimiento de nuevo follaje (1)
Cultivo más denso, pero no uniforme, con crecimiento nuevo y con ramas y tallos aún delgados (5)
Cultivo denso, uniforme, buen crecimiento, con ramas y tallos gruesos y firmes (10)

13. Resistencia o tolerancia a estrés (sequía, lluvias intensas, plagas, etc.)

Susceptibles, no se recuperan bien después de un estrés (1)

Sufren en época seca o muy lluviosa, se recuperan lentamente (5)

Soportan sequía y lluvias intensas, recuperación rápida (10)

14. Incidencia de enfermedades

Susceptible a enfermedades, más del 50 % de plantas con síntomas (1)

Entre 20-45% de plantas con síntomas de leves a severos (5)

Resistentes, menos del 20% de plantas con síntomas leves (10)

15. Competencia por malezas

Cultivos estresados dominados por malezas (1)

Presencia media de malezas, cultivo sufre competencia (5)

Cultivo vigoroso, se sobrepone a malezas, o malezas chapeadas no causan problemas (10)

16. Rendimiento actual o potencial

Bajo con relación al promedio de la zona (1)

Medio, aceptable con relación al promedio de la zona (5)

Bueno o alto, con relación al promedio de la zona (10)

17. Diversidad genética *

Pobre, domina una sola variedad de café (1)

Media, dos variedades (5)

Alta, más de dos variedades (10)

18. Diversidad vegetal

Monocultivo sin sombra (1)

Con solo una especie de sombra (5)

Con más de dos especies de sombra, e incluso otros cultivos o malezas dominantes (10)

19. Diversidad natural circundante

Rodeado por otros cultivos, campos baldíos o carretera (1)

Rodeado al menos en un lado por vegetación natural (5)

Rodeado al menos en un 50 % de sus bordes por vegetación natural (10)

20. Sistema de manejo

Monocultivo convencional, manejado con agroquímicos (1)

En transición a orgánico, con sustitución de insumos (5)

Orgánico diversificado, con poco uso de insumos orgánicos o biológicos (10)

PROMEDIO SALUD DEL CULTIVO:

* Aunque la presencia de mayor número de variedades de café significa mayor diversidad genética, podría ser que algunas de estas variedades sean altamente susceptibles a determinado patógeno o que la calidad de algunas para bebida no sea buena o posea algunas características no deseables.

Tabla 2. Indicadores de calidad de suelo y salud de las plantas en cafetales, con sus características y valores correspondientes

Cuando un indicador no aplica para la situación, no se evalúa, o si es necesario, se reemplaza por otro que el investigador y el caficultor estimen más relevante.

Los indicadores de salud del cultivo se refieren a la apariencia del cultivo, al nivel de incidencia de enfermedades, la tolerancia del cultivo al estrés (sequía u otros factores) y a las malezas, crecimiento del cultivo y de las raíces, así como rendimiento potencial. Las observaciones sobre niveles de diversidad vegetal (cantidad de especies de árboles de sombra, e incluso malezas dominantes), diversidad genética (cantidad de variedades de café), diversidad de la vegetación natural circundante, y tipo de manejo del sistema (por ejemplo, en transición a orgánico, con mucho o poco uso de insumos externos) se hacen para evaluar el estado de la infraestructura ecológica del cafetal, asumiendo que un cafetal con mayor diversidad vegetal y genética, un manejo diversificado que aprovecha las sinergias de la biodiversidad y que está rodeado por vegetación natural tiene condiciones de entorno más favorables para la sostenibilidad (Guharay et al., 2001).

Después de asignar los valores a cada indicador, se suman y se divide entre el número de indicadores evaluados, y se obtiene el promedio para la calidad de suelo y la salud del cultivo. Las fincas con valores inferiores a 5 se encuentran por debajo del umbral de sostenibilidad, y por lo tanto requieren un manejo que permita mejorar los aspectos en que los indicadores tienen valores bajos.

6 RESULTADOS

- 6.1.1 La recopilación bibliográfica realizada a través de los de búsqueda Scopus, ScienceDirect y Google Scholar con palabras clave como salud del suelo, soil health test, calidad del suelo, agroecosistemas cafeteros y servicios ecosistémicos entre otros, arrojó 110 artículos científicos, 50 de los cuales se relacionan en el capítulo de bibliografía porque fueron de gran utilidad para desarrollar el tema “Metodologías de evaluación de la salud del suelo”; su inclusión en éste trabajo tiene que ver con el nivel de pertinencia frente al tema desarrollado.
- 6.1.2 Análisis de las metodologías para la evaluación de la salud edáfica en agroecosistemas cafeteros

La búsqueda a través de los diferentes motores de búsqueda respecto a los tipos de metodologías de evaluación de la salud del suelo para agroecosistemas cafeteros produjo 8 resultados y el criterio utilizado para la selección del mejor, contempló los siguientes aspectos:

- a. Precisión, consistencia y reproducibilidad
- b. Bajo costo de implementación
- c. Facilidad y rapidez de implementación
- d. Fácil interpretación de resultados

Tras una revisión de las 8 metodologías tratadas en el presente documento, se concluye que el método que cumple con el criterio planteado es el desarrollado por **Miguel Altieri** en 2002.

Básicamente esta metodología consiste en usar indicadores sencillos y específicos aplicables a una gran diversidad de agroecosistemas de varias regiones; integran propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y pueden relacionarse con procesos del ecosistema. No requiere de pruebas de laboratorio, pero requiere de la experiencia del caficultor para calificar cada uno de los indicadores de suelo y cultivo seleccionados.

En segundo lugar, el método que más se ajusta al criterio de selección es el desarrollado por **Oshri Rinot** que sugiere un enfoque para la evaluación de la salud del suelo (SH) multivariado-complejo mediante el cual los tres pilares de los servicios ecosistémicos del suelo (el aprovisionamiento, la regulación y el apoyo a los servicios) se incluyen cuantitativamente en el proceso de evaluación de las funciones del suelo. Este enfoque condujo al desarrollo de un nuevo índice SH basado en la cuantificación de la relación entre los atributos del suelo y los servicios ecosistémicos.

Esta metodología condensa la metodología propuesta por la Universidad de **Cornell** y la metodología de **Haney**.

La desventaja de este método es que el evaluador requiere experiencia en el campo estadístico y consulta con opinión experta entre otros; por este motivo los costos de implementación son onerosos.

Las siguientes 5 metodologías no cumplen con el criterio de selección por tratarse de metodologías que requieren trabajo de campo con mano de obra calificada, pruebas en laboratorio especializado y personal entrenado para la interpretación de resultados.

Aquí presentamos un breve resumen de las 5 metodologías:

Metodología de Cornell: es un concepto que se ocupa de la integración y optimización de los procesos químicos, físicos y biológicos del suelo que son importantes para una productividad sostenida y la calidad ambiental. Fue desarrollado en Cornell University e incluyen 39 atributos potenciales. Para que esta prueba sea más simple y rentable, el número de atributos puede limitarse a 12–13 físicos (por ejemplo, estabilidad agregada, resistencia a la penetración, capacidad de agua disponible) parámetros químicos (pH, P, K, micronutrientes, contenido de materia orgánica) y biológicos (proteínas del suelo, respiración del suelo, patógenos del suelo). También atributos tales como salinidad del suelo, capacidad de intercambio catiónico y contenido de carbonato de calcio como indicadores salud del suelo (SH).

Haney: Estableció que el índice de salud del suelo (SH) es función de la respiración del suelo, el carbono y el nitrógeno extraíble del agua; además, de la concentración de los nutrientes más relevantes. El índice de Haney se enfoca en representar la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes como los principales factores que describen la salud del suelo.

Brookside: Método de laboratorio que simula la biología y la química de la naturaleza mediante el uso de un indicador de actividad microbiana. La prueba utiliza un enfoque integrado para las pruebas, que refleja el complejo ecosistema del suelo, en lugar de depender de la medición estrecha de N, P y K inorgánicos.

SoilBio: es una prueba de laboratorio que extrae y analiza el perfil de ADN de las comunidades de nematodos de muestras de suelo para proporcionar una evaluación de la salud del suelo, los datos biológicos de las comunidades de nematodos son un reflejo de meses o años.

Nitrógeno orgánico potencialmente disponible: El método consiste en la medición de proteínas del suelo como un indicador en una área funcionalmente relevante y sensible de N orgánico que se puede cuantificar rápidamente en laboratorios de ensayos de suelo.

Por último, el método propuesto por **Franco Obando Moncayo** que propone la evaluación de 10 indicadores que incluyen aspectos físicos y biológicos; a pesar de ser un método simple deja por fuera varios aspectos por evaluar, entre ellos los químicos lo que lo convierte en un método de baja precisión, consistencia y reproducibilidad.

7 CONCLUSIONES

Dentro del marco de la gestión ambiental local se precia como objetivos, minimizar el impacto ambiental de las actividades productivas, buscar conseguir un equilibrio adecuado para el desarrollo económico y uso racional de los recursos. Una manera de realizar una pequeña contribución a esos objetivos fue a través de la presente revisión bibliográfica, con el estudio de las distintas metodologías disponibles para la evaluación de la salud del suelo y con el breve recuento del nacimiento de la edafología moderna y el concepto de “servicios ecosistémicos del suelo”

Por otro lado, el desarrollo del trabajo de revisión bibliográfica que ha dado lugar a la presente monografía ha alcanzado los objetivos inicialmente propuestos en cuanto a:

- Recopilar información de artículos o publicaciones nacionales o internacionales sobre metodologías de evaluación de la salud edáfica.
- Sintetizar la información recolectada en un documento de fácil comprensión y consulta.
- Proporcionar una guía de consulta sobre metodologías para evaluación de la salud del suelo en agroecosistemas cafeteros.

Dentro de la revisión bibliográfica de las variadas metodologías disponibles para la evaluación de la salud del suelo se seleccionaron 8 para su análisis basado en que cada una representa un enfoque distinto de evaluación. De todas ellas se concluye que el método desarrollado por **Miguel Altieri** en 2002 es el que más se ajusta a la realidad de caficultor colombiano; si se considera que, básicamente esta metodología consiste en usar indicadores sencillos y específicos aplicables a una gran diversidad de agroecosistemas de varias regiones; integran propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y pueden relacionarse con procesos del ecosistema. No requiere de pruebas de laboratorios especializados, pero si requiere de la experiencia del caficultor para calificar cada uno de los indicadores de suelo y cultivo seleccionado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Altieri M. A. (1995). The Science of Sustainable Agriculture . *Agroecology Systems*, 433. Altieri M. A. (1995). The Science of Sustainable Agriculture . *Agroecology Systems*, 433.
2. Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2002). Un Metodo Agroecologico Rapido para la Evaluación de la Sostenibilidad de Cafetales. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 64, 17–24. agroeco3@nature.berkeley.edu
3. Banegas, N. (2014). *Calidad y salud del suelo*.
4. Boyd, J., & Banzhaf, S. (2007). What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 63(2–3), 616–626. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.01.002>
5. Breure, A. M., De Deyn, G. B., Dominati, E., Eglin, T., Hedlund, K., Van Orshoven, J., & Postuma, L. (2012). Ecosystem services: A useful concept for soil policy making! *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(5), 578–585. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.10.010>
6. Brookside Laboratories inc. (n.d.). *Soil Health*. Soil Health Testing. <https://www.blinc.com/node/29>
7. Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Flesskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W., & Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120(February), 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
8. Buol, S. W. (1995). Sustainability of soil use. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 26, 25–44. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.26.110195.000325>
9. Castro, J. (2015). *La importancia de la información para la toma de decisiones en una empresa*. Blog Corponet. <https://blog.corponet.com.mx/la-importancia-de-la-informacion-para-la-toma-de-decisiones-en-la-empresa>
10. Costanza, R., D'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387(6630), 253–260. <https://www-nature-com.ezproxy.royalroads.ca/articles/387253a0.pdf>
11. Daily, G. C., Alexander, S., Ehrlich, P. R., Goulder, L., Lubchenco, J., Matson, P. A., Mooney, H. A., Postel, S., Schneider, S. H., Tilman, D., & Woodwell, G. M. (1997). Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems. URL: <http://cfpub.epa.gov/watertrain/pdf/-/issue2.pdf>, Last Update: 09.09.2013. *Issues in Ecology*, 2, 1–16. <http://cfpub.epa.gov/watertrain/pdf/issue2.pdf>
12. De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393–408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
13. Dominati, E., Mackay, a, Green, S., & Patterson, M. (1997). *The value of soil services for nutrient management*. 1–8.

14. Dominati, Estelle, Patterson, M., & Mackay, A. (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, 69(9), 1858–1868. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002>
15. Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and Assessing Soil Quality. *USDA-ARS*, 1–21.
16. Doran, J. W., & Zeiss, M. R. (2011). Parent material and soil physical properties. *Soil Health and Sustainability: Managing the Biotic Component of Soil Quality, Part 4*, 543–547. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3585-1_107
17. Ehrlich, P. R., & Mooney, H. A. (1983). *Extinction , Substitution , Ecosystem Services*. 33(4), 248–254.
18. Endres, M. (1905). *Handbuch der Forstpolitik mit besonderer Berücksichtigung der Gesetzgebung und Statistik*.
19. Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68(3), 643–653. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.014>
20. Friedman, D., Hubbs, M., Tugel, A., Seybold, C., & Sucik, M. (2001). Guidelines for soil quality assessment in conservation planning. *Natural Resources Conservation Service Soil Quality Institute*, 1–38. http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/sq_assessment_cp.pdf
21. Gallegos, Á., Bautista, F., & Álvarez, O. (2014). SOFTWARE Assofu TO ASSESS ENVIRONMENTAL SOIL FUNCTIONS. *Revista Chapingo*.
22. Guharay, F., Monterroso, D., & Staver, C. (2001). El diseño y manejo de la sombra para la supresión de plagas en cafetales de América Central. *Agroforestería En Las Américas*, 8(29), 22–29.
23. Hall, E. (2017). *Comprehensive Assessment of Soil Health*.
24. Haney, D., Haney, R., & Agrícola, D. I. (2019). La prueba de Haney para la salud del suelo. *C.O.R.N. Newsletter*.
25. Hurisso, T. T., Moebius-clune, D. J., Culman, S. W., Moebius-clune, B. N., Thies, J. E., & Es, H. M. Van. (2018). *Soil Protein as a Rapid Soil Health Indicator of Potentially Available Organic Nitrogen*. 1–5. <https://doi.org/10.2134/ael2018.02.0006>
26. IGAC. (2012). *Estudio de los Conflictos de Uso del Territorio Colombiano*. 211.
27. Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation 土壤质量: 一个概念、定义和评估框架. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 4–10.
28. Karlen, D. L., Wollenhaupt, N. C., Erbach, D. C., Berry, E. C., Swan, J. B., Eash, N. S., & Jordahl, J. L. (1994). Long-term tillage effects on soil quality. *Soil and Tillage Research*, 32(4), 313–327. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(94\)00427-G](https://doi.org/10.1016/0167-1987(94)00427-G)
29. Kolbasov, O. S. (1992). UN Conference on Environment and Development. *Izvestiya - Akademiya Nauk, Seriya Geograficheskaya*, 6(June), 47–54. <https://doi.org/10.4135/9781412971867.n128>
30. Larkin, R. P. (2015). Soil Health Paradigms and Implications for Disease Management*. *Annual Review of Phytopathology*, 53(May), 199–221. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080614-120357>
31. Lehmann, A. (2010). Evaluation and importance of soil functions in cities considering infiltration and climatic regulation. *19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Published*(August), 53–56.

32. Lorenz, G. (2015). Las ciencias de suelo en el siglo 21: enlazando sistema, funciones y planificación. *Quebracho - Revista de Ciencias Forestales*, 23(1–2), 105–116.
33. Marc, L., Suresh, B., & Kirk, H. (2003). Ecosystem Conditions and Human Well-being. *MEA*.
34. MINAMBIENTE. (2012). *Libe rtad POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LA BIODIVERSIDAD Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS (PNGIBSE)*.
35. MINAMBIENTE. (2016). Política para la gestión sostenible del suelo. In *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. [http://www.andi.com.co/Uploads/Política_para_la_gestión_sostenible_del_suelo_FIN AL.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/Política_para_la_gestión_sostenible_del_suelo_FIN_AL.pdf)
36. Moncayo, F.-H. (2011). Cartilla guía para la evaluación de la salud del suelo. *SOSANDINOS*.
37. Reeves, D. W. (1997). The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research*, 43(1–2), 131–167. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(97\)00038-X](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00038-X)
38. Rekik, F., van Es, H., Hernandez-Aguilera, J. N., & Gómez, M. I. (2018). Soil health assessment for coffee farms on andosols in Colombia. *Geoderma Regional*, 14, e00176. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00176>
39. Rekik, F., Van Es, H., Hernandez-Aguilera, J. N., & Gómez, M. I. (2019). Linking Coffee to Soil: Can Soil Health Increase Coffee Cup Quality in Colombia? *Soil Science*, 184(1), 25–33. <https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000248>
40. Rinot, O., Levy, G. J., Steinberger, Y., Svoray, T., & Eshel, G. (2019). Soil health assessment: A critical review of current methodologies and a proposed new approach. *Science of the Total Environment*, 648, 1484–1491. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.259>
41. Schindelbeck, R. R., Moebius-Clune, B. N., Moebius-Clune, D. J., Kurtz, K. S., & van Es, H. M. (2016). *Cornell University Comprehensive Assessment of Soil Health Laboratory Standard Operating Procedures*. February, 31–38.
42. SoilEssentials. (n.d.). *Prueba de salud del suelo SoilBio*. SoilBio Soil Health Test. <https://www.soilessentials.com/service/soilbio-test/>
43. Tate, R. L. (1995). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment* (pp. 77–78).
44. U.S. EPA. (2004). Ecological benefits assessment strategic plan. *Washington. DC: SAB Review Draft*.
45. Urrea, J. L. (2018). ¿ *Cómo medir la salud del suelo de manera simple y a bajo costo ?* <https://blog.ciat.cgiar.org/es/como-medir-la-salud-del-suelo-de-manera-simple-y-a-bajo-costo/>
46. USDA. (1999). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. *National Soil Survey, Center Natural Resources Conservation Service. USA*.
47. USDA. (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos. *Mdp.Edu.Ar*, 339. <https://www.uv.mx/iif/files/2014/10/Tesis-Elba-Pinus-teocote-MC.pdf>
48. Westman, Walter, E. (1977). How Much Are Nature 's Services Worth ? *Science*, 197(4307), 960–964.
49. Wood, M., & Litterick, A. M. (2017). Soil health – What should the doctor order? *Soil Use and Management*, 33(2), 339–345. <https://doi.org/10.1111/sum.12344>
50. Zubiri, X. (1988). Naturaleza, historia, Dios. In *Revista de Filosofía* (Vol. 0, Issue 0).